

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zařízení pro sušení sudů na plnicí lince

Equipment for Drying Barrels on the Filling Line

Student:

Bc. Jiří Loveček

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Loveček**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302T043 Hydraulika a pneumatika

Téma: **Zařízení pro sušení sudů na plnicí lince**
Equipment for Drying Barrels on the Filling Line

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete zařízení pro osušení pětilitrových soudků po jejich naplnění a opláchnutí. Soudky se pohybují po válečkovém dopravníku. Po dojezdu na místo sušení dojde k zastavení soudku, osušení válcové části, poté se soudek samovolně rozjede a při odjezdu proběhne ještě osušení dna a víka.

Vypracujte následující body:

1. Rešerši k problematice čištění a sušení tlakovým vzduchem.
2. Navrhnete válečkový gravitační dopravník pro danou aplikaci.
3. Zvolte vhodný způsob sušení a prvky pro sušení, jejich umístění apod.
4. Navrhnete pneumatický obvod a zvolte prvky obvodu.
5. Nakreslete dispoziční výkres zařízení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.

BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.

MURRENHOFF, H., REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.

Katalogy a podklady výrobců pneumatických prvků.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Lukáše Dvořáka Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Karel Jir', is written over a horizontal dotted line.

Podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018



Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Loveček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Přílehlá 72, Ratíškovice, 696 02

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LOVEČEK, J. *Zařízení pro sušení sudů na plnicí lince: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2018, 59 s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Obsahem této diplomové práce je návrh zařízení na sušení 5l soudků pomocí stlačeného vzduchu po jejich naplnění a umytí. Nejprve jsou popsány vlastnosti stlačeného vzduchu s přiblížením možností ofuku a sušení tlakovým vzduchem. Dále je navržen sklon gravitačního dopravníku pro samovolné rozjetí soudku. Následně je zvolen způsob osušení celého soudku a pro tuto možnost navrhnuty všechny prvky pneumatického obvodu tak, aby byla zajištěna jeho správná funkce. K této práci je také vypracována výkresová dokumentace, obsahující schéma obvodu, schéma zapojení prvku ve skříně, seznam použitých prvků v obvodu a dispoziční výkres zařízení.

ANOTATION OF MASTER THESIS

LOVEČEK, J. *Equipment for drying barrels on the filling line: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipments, 2018, 59 p. Thesis head: Dvořák, L.

This master thesis contains the design of the equipment for drying 5l barrels with compressed air after filling and cleaning proces. The properties of the compressed air are described first and also the options of compressed air blowing devices. The next part is the calculation of the angle of the gravity conveyor, so the barrel can start off by itself. In the following part is chosen the way of drying the whole barrel and the selection of optimal pneumatical components for this option, so it is working properly. For this thesis, there are also developed the drawings containing the circuit schema, component connection schema in the box, list of used components in the circuit and the layout drawing of the device.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	9
Úvod	13
1. Čištění a sušení tlakovým vzduchem	14
1.1 Oblasti použití stlačeného vzduchu	14
1.2 Pneumatické prvky používané k čištění a sušení tlakovým vzduchem	16
1.3 Pneumatické nože – princip činnosti	18
1.4 Druhy využití pneumatických nožů	20
2 Výpočet gravitačního válečkového dopravníku	21
2.1 Návrh dopravníku	21
2.1.1 Výpočet potřebné šířky válečku B	21
2.1.2 Teoretická rozteč mezi válečky t	22
2.1.3 Počet válečků na dopravníku z	23
2.1.4 Reálná rozteč mezi válečky t_1	23
2.1.5 Skutečný počet válečků pod břemenem k	23
2.2 Výpočet potřebného sklonu dopravníku	23
2.2.1 Hmotnost rotující části válečku m_r	23
2.2.2 Odpor vlivem valivého a čepového tření W_1	24
2.2.3 Odpor válečku způsobený najetím břemena W_2	24
2.2.4 Celkový odpor W_C	25
2.2.5 Sklon tratě β	25
2.2.6 Zdvih dopravníku b_z	26
2.2.7 Výpočet pohybové síly F_p	26
2.2.8 Zrychlení břemena na délce dopravníku a	27
2.2.9 Rychlost břemena v místě osušení v	27
3. Návrh řešení stroje pro osušení	28
3.1 Teoretické možnosti řešení	28
3.2 Návrh pneumatických nožů	30
3.2.1 Volba pneumatických nožů	30
3.2.2 Spotřeba vzduchu pneumatických nožů	31
3.3 Návrh pohonů pro pneumatický obvod	32
3.3.1 Výpočet hlavního pneumatického válce	32
3.3.2 Výpočet zárážkového válce	34

3.3.3 Výpočet potřebného objemu vzduchu pro primární válec	35
3.3.4 Spotřeba vzduchu pro zářezkový válec	37
4. Návrh pneumatického obvodu	39
4.1 Krokový diagram.....	39
4.2 Schéma obvodu	40
4.3 Návrh rozváděčů pro nože a válce	40
4.3.1 Rozváděče pro pneumatické nože	40
4.3.2 Rozváděče pro pneumatické válce – 1V1, 3V1	41
4.4 Návrh dalších prvků v obvodu	42
4.4.1 Rozváděč k přepínání fází – 0V2	42
4.4.2 Narážky a kladičky.....	43
4.4.3 Rozváděč pro řízení rozváděče hlavního válce – 1V2	44
4.4.4 Časové relé – 1S4, 3S2, 4S1	45
4.4.5 Logické prvky	45
4.4.6 Škrťací ventil – 1V4, 1V5, 3V5, 3V6	46
4.4.7 Šroubení	47
4.5 Návrh jednotky pro úpravu vzduchu	49
4.6 Kontrola propustnosti	51
4.6.1 Kontrola kruhového nože	52
4.6.2 Kontrola přímých nožů.....	52
5 Konstrukce zařízení.....	53
Závěr.....	55
Seznam obrázků:	56
Seznam tabulek	57
Seznam příloh.....	57
Seznam literatury.....	58

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
A	průměr hřídele válečku dopravníku	[mm]
B	šířka válečku	[mm]
B _č	šířka čela válečku	[mm]
D	průměr válečku dopravníku	[mm]
D _č	velký průměr čela	[mm]
D _p	průměr pístu pneumatického válce	[mm]
D _v	velký průměr pláště válečku	[mm]
F	šířka matice válečku dopravníku	[mm]
F _k	síla působící na pneumatický válec	[N]
F _p	pohybová síla	[N]
J	moment setrvačnosti	[kg·m ²]
G	vzdálenost mezi maticí a koncem hřídele válečku dopravníku	[mm]
L	délka dopravníku	[mm]
M	velikost závitu	[mm]
Q _{CkNne}	celková propustnost prvků pro kruhový nůž, normální stav	[dm ³ ·min ⁻¹ (ANR)]
Q _{CpNne}	celková propustnost prvků pro přímý nůž, normální stav	[dm ³ ·min ⁻¹ (ANR)]
Q _k	spotřeba jedné připojovací větve kruhového nože	[dm ³ ·min ⁻¹]
Q _{Nne}	propustnost obvodu, normální stav	[dm ³ ·min ⁻¹ (ANR)]
Q _{Nni}	propustnost jednotlivého prvku	[dm ³ ·min ⁻¹ (ANR)]

$Q_{střp}$	střední spotřeba vzduchu jednoho pracovního cyklu pneumatického válce	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_{střp}$	střední spotřeba vzduchu jednoho pracovního cyklu zářžkového válce	$[dm^3 \cdot min^{-1} (ANR)]$
R	poloměr válečku	$[mm]$
RL	šířka pláště válečku dopravníku	$[mm]$
S	dráha břemena	$[mm]$
V_{1p}	objem strany pístu pneumatického válce	$[m^3]$
V_{1z}	objem strany pístu zářžkového válce	$[m^3]$
V_{2p}	objem strany pístnice pneumatického válce	$[m^3]$
V_{2z}	objem strany pístnice zářžkového válce	$[m^3]$
V_{CNp}	celkový objem jednoho pracovního cyklu pneumatického válce, normální stav	$[m^3 (ANR)]$
V_{CNz}	celkový objem jednoho pracovního cyklu zářžkového válce, normální stav	$[m^3 (ANR)]$
V_{Cp}	celkový objem jednoho pracovního cyklu pneumatického válce	$[m^3]$
V_{Cz}	celkový objem jednoho pracovního cyklu zářžkového válce	$[m^3]$
W	tloušťka pláště válečku dopravníku	$[mm]$
W_1	odpor vlivem čepového tření	$[N]$
W_1'	reálný odpor vlivem čepového tření	$[N]$
W_2	odpor válečku po najetí břemena	$[N]$
W_C	celkový odpor	$[N]$
W_C'	celkový reálný odpor	$[N]$
a	zrychlení břemena na dopravníku	$[m \cdot s^{-2}]$

a_b	šířka podstavý břemena	[mm]
b_z	zdvih dopravníku	[mm]
$d_{\check{c}}$	malý průměr čela válečku	[mm]
d_v	malý průměr pláště válečku	[mm]
e	rameno valivého odporu	[mm]
$f_{\check{c}}$	koefficient čepového tření	[1]
k	skutečný počet válečků pod břemenem	[1]
k_1	koefficient počtu válečků pod břemenem	[1]
l_b	délka podstavý břemena	[mm]
$m_{\check{c}}$	hmotnost čela válečku	[kg]
m_k	hmotnost konstrukce	[kg]
m_p	snížená hmotnost soudku	[kg]
m_{pl}	hmotnost pláště válečku	[kg]
m_{pr}	reálná hmotnost soudku	[kg]
m_r	hmotnost rotující části válečku	[kg]
p	tlak v pneumatickém obvodu	[Pa]
$r_{\check{c}}$	poloměr čepového tření	[mm]
r_s	střední poloměr rotující části	[mm]
t	teoretická rozteč mezi válečky	[mm]
t_1	reálná rozteč mezi válečky	[mm]
t_{cp}	pracovní doba cyklu pneumatického válce	[s]
t_{cz}	pracovní doba cyklu zářžkového válce	[s]
v_0	počáteční rychlost	[m·s ⁻¹]
v_k	maximální rychlost	[m·s ⁻¹]

z	počet válečků na dopravníku	[1]
ρ_{FE}	hustota železa	$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}]$
β	sklon tratě	$[\circ]$
ω	úhlová rychlost válečku	$[\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}]$

Úvod

Obsahem této diplomové práce je návrh zařízení pro osušení soudků o objemu 5l po jejich naplnění a omytí, kdy je nutné osušit jak plášť soudku, tak i obě jeho čela.

Úvodní kapitola pojednává o vlastnostech stlačeného vzduchu, dále pak o možnostech sušení a ofukování pomocí stlačeného vzduchu. V závěru kapitoly je popsán princip funkce samotných pneumatických nožů.

Ve druhé kapitole je popsán návrh sklonu gravitačního válečkového dopravníku, po němž se budou soudky pohybovat, aby bylo zajištěno samovolné rozjetí soudku na začátku dopravníku, i po jeho osušení.

Obsahem třetí kapitoly je návrh řešení sušení soudku, dále se pak zabývá volbou vhodných pneumatických nožů. Také je zde popsána volba hlavního pneumatického válce, zářezového válce a nakonec výpočet potřebného průtoku pro pracovní cyklus obou válců.

Čtvrtá kapitola obsahuje krokový diagram obvodu, výkresovou dokumentaci pneumatického obvodu, dále pak volbu dalších prvků v obvodu a nakonec je zde i kontrolní výpočet propustnosti prvků ve větvích, které vedou k pneumatickým nožům.

V páté kapitole je popsána pneumatická skříň, kde jsou umístěny prvky, které není nutné montovat přímo na samotnou konstrukci. Dále je zde přiložen dispoziční výkres.

1. Čištění a sušení tlakovým vzduchem

Tato část je převzata z literatury od SMC¹

1.1 Oblasti použití stlačeného vzduchu

Využití stlačeného vzduchu má své pevné místo v použití pro pohony, řízení a regulaci. Stlačený vzduch je stále více používán a je neodmyslitelnou součástí řady manipulátorů a dalších mechanismů.

Obecně se pneumatické pohony používají tam, kde stačí malé až střední síly a je třeba rychlý pohyb s vysokou frekvencí. Lineární pohyby malých pneumatických válců, nebo úchopných hlavic mají malé momenty setrvačnosti a proto umožňují rychlé reakce a rychlost mechanismů.

Stlačený vzduch má mnohostranné využití. Na jedné straně se jím měří tlak kapaliny v lidském oku, na druhé straně se používá k pohonu vrtačky pro vrtání betonu. Často se využívá v konstrukci a stavbě přípravků, balicích a dřevoobráběcích strojů, textilním průmyslu atd.

Vlastnosti stlačeného vzduchu

Dostupnost

Stlačený vzduch je ve většině podniků k dispozici. Pojízdne kompresory umožňují jeho využití mimo provozovny.

Skladování

Velké objemy stlačeného vzduchu lze bez problémů skladovat.

Jednoduchá konstrukce

Pneumatické prvky mají jednoduchou konstrukci a lze z nich sestavit jednoduché řídicí obvody pro automatizaci strojů.

Řízení proudu a tlaku

Rychlost pneumatického motoru lze jednoduše nastavit přestavením jehly škrticího ventilu, sílu přestavením regulátoru tlaku vzduchu.

Trvanlivost při malých nárocích na údržbu

Pneumatické motory a řídicí systémy prakticky odolávají prostředí provozu a atmosférickým vlivům. Předpokladem je provoz s čistým stlačeným vzduchem, zbaveným před spotřebičem mechanických nečistot, kondenzátu a oleje.

Bez negativních vlivů na životní prostředí

Provoz pneumatických pohonů je čistý a při správném ošetření vyfukovaného vzduchu lze splnit příslušné normy pro provoz v čistém prostředí.

Bezpečnost

Pneumatické pohony se při provozu nezahřívají, a proto je možno je bez obav použít i ve výbušném prostředí. Při přetížení (pracovní tlak = provozní tlak) se pneumatické motory zastaví a mohou v tomto stavu setrvat neomezenou dobu, aniž by došlo k jejich poškození.

Velké zrychlení

Velké zrychlení umožňuje velká rozpínavost stlačeného vzduchu a malá hmotnost pohybujících se částí pneumatických motorů.

Výhody a nevýhody pneumatických pohonů

Výhody

- možnost rozvodu na delší vzdálenosti
- nepotřebuje odpadové větve rozvodu
- možnost rychlých pohybů
- snadná regulace

Nevýhody

- omezená síla
- problematické dosažení pomalých, plynulých pohybů
- nepřesnost zastavování v mezipolohách
- vyšší cena pracovního média

1.2 Pneumatické prvky používané k čištění a sušení tlakovým vzduchem

Vrtaná trubka

Vrtaná trubka, vyobrazená na obrázku 1.1, je nejjednodušší a snadno proveditelné řešení. Má nízké pořizovací náklady, avšak v provozu vykazuje vysokou hlučnost a také její účinnost je nízká. Toto má za následek vysokou spotřebu vzduchu a tudíž i vysoké provozní náklady².



OBRÁZEK 1.1 – VRTANÁ TRUBKA

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/porovnavani-ofukovani/>

Trubka s tryskami

Další jednoduché řešení ofuku pomocí plastových trysek, viz obrázek 1.2. Tyto trysky lépe usměrňují proud vzduchu, díky čemuž se zvyšuje účinnost. Zůstává však problém velmi vysoké spotřeby vzduchu a s tím spojené vysoké provozní náklady².



OBRÁZEK 1.2 – TRUBKA S TRYSKAMI

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/porovnavani-ofukovani/>

Pneumatické nože

Tento prvek bude více popsán v následující kapitole.

Ofukovací pistole

Mají delší životnost a nižší riziko trvalého úniku vzduchu. Lze je vybavit o trysky s možností regulace tlaku s uzamykatelným regulátorem tlaku. Pro zesílení proudu vzduchu je vhodné použít trysku s injektorovou funkcí. Různé typy těchto trysek jsou viditelné na obrázku 1.3³.

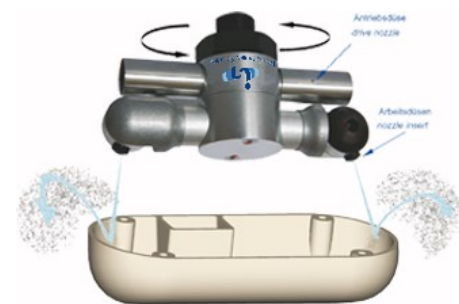


OBRÁZEK 1.3 – TRYSKY OFUKOVACÍ PISTOLE

Zdroj: <http://www.kompresorypema.cz/produkty/efektivni-ofukovani/>

Rotační vzduchové čistící trysky

Tento druh trysek, zobrazený na obrázku 1.4, je určen pro bezkontaktní čištění tvarových či strukturovaných výrobků jako např. vstřikované výlisky, plastové nebo dřevěné desky, panely TV obrazovek, desky s tištěnými spoji, vakuově tvarované výlisky apod. Tyto trysky lze kombinovat s ionizátory pro eliminaci statické elektřiny. Také je lze doplnit o odsávací hadici⁴.



OBRÁZEK 1.4 – ROTAČNÍ TRYSKA

Zdroj: <https://www.lontech.cz/rotacni-vzduchove-cistici-trysky.html>

Další typ rotační trysky, která vytváří rázovou vlnu stlačeného vzduchu je Pata gun, obrázek 1.5. Tato tryska efektivně využívá stlačený vzduch při sušení, čištění či chlazení. Lze ji používat jak samostatně, tak montovat na ruční pistole⁵.



OBRÁZEK 1.5 – PATA GUN

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/sortiment-nozu/serie-rrt-pata-gun/1/>

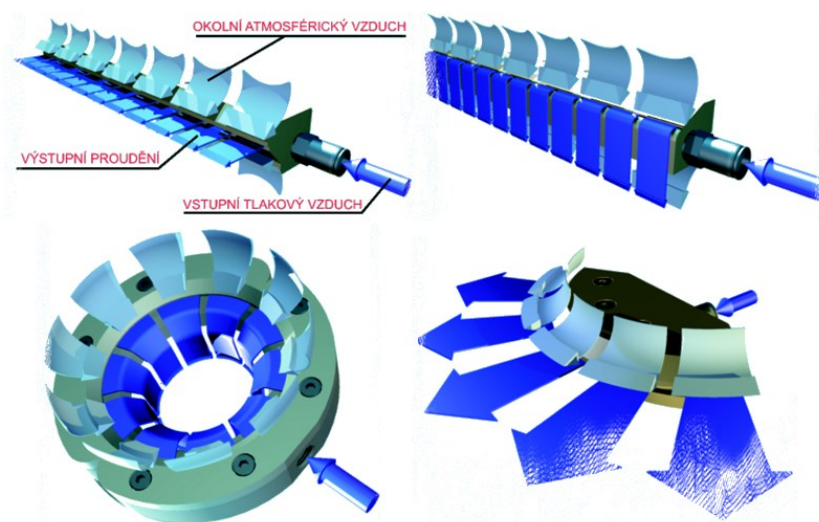
1.3 Pneumatické nože – princip činnosti

Pneumatické nože fungují na principu objemového zesilovače. Využívá se u nich tzv. Coanda efektu, tento efekt způsobuje přilínání tlakového vzduchu k povrchu nože a také nasávání okolního vzduchu, díky čemuž se zvýší celkový objem vzdušného proudu.

Hlavním účelem pneumatických nožů je vytvoření vysoce kapacitního laminárního proudu vzduchu o vysoké rychlosti. Tento proud je vytvořen podél celé délky nože⁶.

K jeho hlavním výhodám patří: asi o třetinu nižší spotřeba vzduchu, nízká úroveň hluku, jednoduchý provoz, žádné pohyblivé části, velký poměr zesílení, libovolná možnost sestavení. Lze jej použít u aplikací, kde je potřeba nepřetržitý proud vzduchu. Je možné je také doplnit o zařízení eliminující statickou elektřinu, či měření množství vzduchu⁷.

Různé tvary pneumatických nožů jsou patrné na obr. 1.6.



OBRÁZEK 1.6 – TVARY PNEUMATICKÝCH NOŽŮ

Zdroj: <http://www.betki.eu/princip>

Nízkotlaký nůž

Výhodou řešení pomocí nízkotlakého pneumatického nože je práce při nízkém tlaku vzduchu, čili jeho celková spotřeba vzduchu je relativně nízká, a proto jsou nízké také provozní náklady. Má dobrou účinnost a také směřování proudu vzduchu. Nevýhodou je celkem vysoká pořizovací cena, jelikož je nutné také pořídit zdroj nízkého tlaku vzduchu (dmyhadla) a kompletní rozvody². Tento nůž je zobrazený na obrázku 1.7.

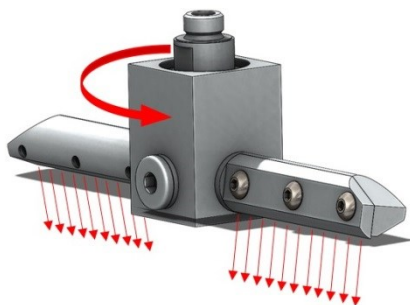


OBRÁZEK 1.7 – NÍZKOTLAKÝ PNEUMATICKÝ NŮŽ

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/porovnavani-ofukovani/>

Rázový rotační nůž

Tento nůž, viz obrázek 1.8, vytváří rázovou vlnu tlakového vzduchu. Lze je využít pro náročnější ofuky. Tento druh nožů také při použití efektivně využívá stlačený vzduch⁸.



OBRÁZEK 1.8 – RÁZOVÝ ROTAČNÍ NŮŽ

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/sortiment-nozu/serie-rnn/1/>

1.4 Druhy využití pneumatických nožů

Pneumatické nože lze využít pro nejrůznější aplikace⁹.

1. Vysoušení a odstranění kapaliny z povrchu výrobků
2. Odfukování prachu a nečistot
3. Třízení materiálů, přepravení, přidržení
4. Ochlazování či ohřívání materiálu
5. Vzduchová clona
6. Neutralizace statických nábojů



OBRÁZEK 1.9 – PRŮMYSLOVÉ APLIKACE

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/prumyslove-aplikace/>

Jsou také využívány v nejrůznějších odvětvích průmyslu. Do těchto odvětví patří průmysl: potravinářský, papírenský, polygrafický, textilní, stavební, dřevařský, strojírenský, plastikářský, gumárenský, elektrotechnický⁹.

Při řešení této práce budou použity pouze vysokotlaké pneumatické nože, z důvodu jejich lepší účinnosti pro naše zadání. Konkrétní volba těchto nožů bude provedena v kapitole 3.

2 Výpočet gravitačního válečkového dopravníku

V rámci zadání diplomové práce je třeba navrhnout gravitační dopravník, po kterém se budou čištěné soudky pohybovat. Je třeba vypočítat sklon tohoto dopravníku, při kterém bude možné uskutečnit proces osušení. Čili dojde k samovolnému rozjetí břemene po postavení na dopravník, toto břemeno poté přijede k místu osušení, kde se zastaví o zarážku. Následně dojde k procesu osušení a po uvolnění zarážky se břemeno opět rozjede.

2.1 Návrh dopravníku

Těleso, které se bude po dopravníku je pivní soudek o objemu 5l. Průměr podstavy soudku je 175 mm, výška soudku je 270 mm, váha soudku je 5,8 kg. Výpočet bude proveden pro hmotnost soudku 5 kg, aby bylo dosaženo sklonu, při kterém se reálné břemeno opravdu rozjede.

Pro toto zadání je také třeba zvolit vhodnou délku dopravníku. Vhodná délka byla zvolena $L = 3000$ mm.

Tento výpočet je převzat z literatury^{10,11}.

2.1.1 Výpočet potřebné šířky válečku B

$$B \geq \frac{a_b}{0,8}$$

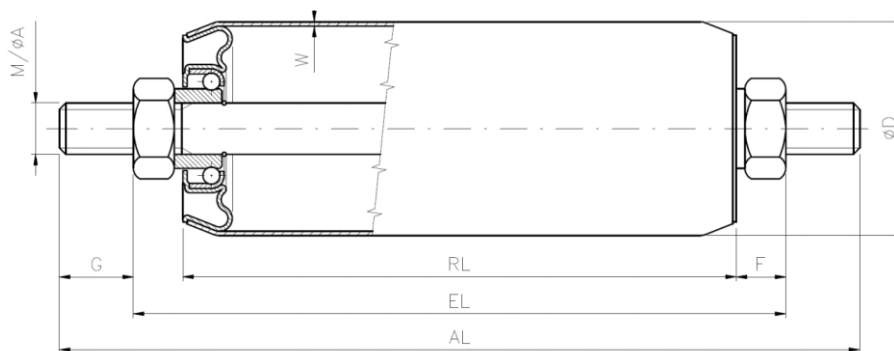
$$B \geq \frac{175}{0,8}$$

$$B \geq 218,75 \text{ mm} \rightarrow 255 \text{ mm}$$

Kde: a_b je šířka podstavy břemena, v našem případě průměr čela soudku

Vhodný váleček: DRAŠAR s.r.o. TRG/20x1,5/ST/A6/M6/EL=270

Délka EL = šířka těla válečku RL = 255 mm + 2x šířka matice F = 7,5 mm.



OBRÁZEK 2.1 – ROZMĚRY VÁLEČKU

Zdroj: <http://www.drasar.cz/files/trg.pdf>

Rozměry válečku:

Průměr válečku $\varnothing D = 20 \text{ mm}$

Tloušťka pláště válečku $W = 1,5 \text{ mm}$

Šířka pláště válečku $RL = 255 \text{ mm}$

Průměr hřídele $A = 6 \text{ mm}$

Šířka matky $F = 7,5 \text{ mm}$

Vzdálenost mezi matkou a koncem hřídele $G = 15 \text{ mm}$

Velikost závitu $M = M6$

2.1.2 Teoretická rozteč mezi válečky t

Dle literatury [F] by mělo být pod břemenem 2 – 5 válečků, tento počet je vyjádřen koeficientem k_1 . Pro tento výpočet volím $k_1 = 3$.

$$t = \frac{l_b}{k_1}$$

$$t = \frac{175}{3}$$

$$t = 58,33 \text{ mm}$$

Kde: l_b je délka podstavy břemena, v našem případě opět $\varnothing D$

k_1 je volený počet válečků pod břemenem

2.1.3 Počet válečků na dopravníku z

$$z = \frac{L}{t}$$

$$z = \frac{3000}{58,33}$$

$$z = 51,43 \rightarrow 50 \text{ válečků}$$

Kde: L je délka dopravníku

2.1.4 Reálná rozteč mezi válečky t_1

$$t_1 = \frac{L}{z}$$

$$t_1 = \frac{3000}{50}$$

$$t_1 = 60 \text{ mm}$$

2.1.5 Skutečný počet válečků pod břemenem k

$$k = \frac{l_b}{t_1}$$

$$k = \frac{175}{60}$$

$$k = 2,91$$

2.2 Výpočet potřebného sklonu dopravníku

Pro samovolné rozjetí tělesa po odstranění zarážky je nutné vypočítat potřebný sklon dopravníku.

2.2.1 Hmotnost rotující části válečku m_r

$$m_r = m_{pl} + 2 \cdot m_{\xi}$$

$$m_r = \rho_{FE} \cdot \pi \cdot \left[\frac{(D_v^2 - d_v^2) \cdot B_v + (D_{\xi}^2 - d_{\xi}^2) \cdot B_{\xi} \cdot 2}{4} \right]$$

$$m_r = 7800 \cdot \pi \cdot \left[\frac{(0,02^2 - 0,017^2) \cdot 0,255 + (0,017^2 - 0,006^2) \cdot 0,004 \cdot 2}{4} \right]$$

$$m_r = 0,186 \text{ kg}$$

Kde: m_r je hmotnost rotační části válečku

m_{ε} je hmotnost čela válečku

m_{pl} je hmotnost pláště válečku

ρ_{FE} je hustota železa

D_v je velký průměr pláště válečku

D_{ε} je velký průměr čela

d_v je malý průměr pláště válečku

d_{ε} je malý průměr čela válečku

2.2.2 Odpor vlivem valivého a čepového tření W_1

$$W_1 = \frac{m_p \cdot g \cdot \cos \beta}{R} \cdot (e + f_{\varepsilon} \cdot r_{\varepsilon}) + k \cdot g \cdot m_r \cdot \frac{f_{\varepsilon} \cdot r_{\varepsilon}}{R}$$

$$W_1 = \frac{5 \cdot 9,81 \cdot 1}{0,01} \cdot (0,0005 + 0,05 \cdot 0,003) + 2,91 \cdot 9,81 \cdot 0,19 \cdot \frac{0,05 \cdot 0,003}{0,04}$$

$$W_1 = 3,209 \text{ N}$$

Kde: e je rameno valivého odporu určené dle materiálu ze strojnických tabulek

f_{ε} koeficient čepového tření

r_{ε} poloměr čepového tření

Jelikož je úhel naklonění dopravníku velmi malý, lze jej v tomto výpočtu zanedbat a uvažovat velikost úhlu $\beta = 0^\circ$

2.2.3 Odpor válečku způsobený najetím břemena W_2

Váleček před najetím břemena zůstává v klidu. Po najetí břemena se váleček uvede do rotačního pohybu, čímž vznikne smykové tření ve stykových plochách. Tím také dojde k přeměnění části energie v rotační energii a část energie se změní v teplo.

$$W_2 = \frac{J \cdot \omega^2}{t_1}$$

$$W_2 = \frac{m_r \cdot r_s^2}{t_1} \cdot \frac{(v_k^2 + v_0^2)}{(2 \cdot R)^2}$$

$$W_2 = \frac{0,19 \cdot 0,013^2}{0,06} \cdot \frac{(0,6^2 + 0)}{(2 \cdot 0,01)^2}$$

$$W_2 = 0,0048 \text{ N}$$

Kde: J je moment setrvačnosti

ω je úhlová rychlost válečku

t_1 je reálná rozteč mezi válečky

R je poloměr válečku

v_k je maximální rychlost břemena dovolená konstrukcí válečků

v_0 je počáteční rychlost břemena

r_s je střední poloměr rotující části

2.2.4 Celkový odpor W_C

$$W_C = W_1 + W_2$$

$$W_C = 3,209 + 0,0048$$

$$W_C = 3,213 \text{ N}$$

2.2.5 Sklon tratě β

$$m_p \cdot g \cdot \sin \beta = W_c$$

$$\sin \beta = \frac{W_c}{m_p \cdot g}$$

$$\sin \beta = \frac{3,213}{5 \cdot 9,81}$$

$$\sin \beta = 0,0655$$

$$\beta = 3,76^\circ$$

Kde: m_p je celková hmotnost

W_c je celkový odpor

Kvůli zanedbání některých odporů proti pohybu a dalším možným nepřesnostem, které by mohly ztížit pohyb břemena po válečku, jsem vypočítaný úhel tratě zvýšil 1,5x. Konečný úhel sklonu tratě je tedy $\beta = 6^\circ$.

2.2.6 Zdvih dopravníku b_z

$$\sin \beta = \frac{b_z}{a}$$

$$b_z = \sin \beta \cdot a$$

$$b_z = \sin 6^\circ \cdot 3000$$

$$b_z = 314 \text{ mm}$$

Kde: β je úhel sklonu dopravníku

a je délka dopravníku

2.2.7 Výpočet pohybové síly F_p

U předešlých výpočtů byla použita nižší hmotnost břemena, aby byl zajištěn dostatečný sklon dopravníku a břemeno se rozjelo. Následující veličiny jsou nutné, aby bylo možné vhodně zvolit některé pneumatické prvky v obvodu. Proto budou počítány pro reálnou hmotnost soudku 5,8 kg. Bude také nutné přepočítat veličiny W_1 a W_c , hodnota W_2 zůstane stejná.

$$W_1' = \frac{m_{pr} \cdot g \cdot \cos \beta}{R} \cdot (e + f_{\zeta} \cdot r_{\zeta}) + k \cdot g \cdot m_r \cdot \frac{f_{\zeta} \cdot r_{\zeta}}{R}$$

$$W_1' = \frac{5,8 \cdot 9,81 \cdot 1}{0,01} \cdot (0,0005 + 0,05 \cdot 0,003) + 2,92 \cdot 9,81 \cdot 0,19 \cdot \frac{0,05 \cdot 0,003}{0,04}$$

$$W_1' = 3,719 \text{ N}$$

$$W_c' = W_1' + W_2$$

$$W_c' = 3,719 + 0,0048$$

$$W_c' = 3,724 \text{ N}$$

$$F_p = m_{pr} \cdot g \cdot \sin \beta - W_c'$$

$$F_p = 5,8 \cdot 9,81 \cdot \sin 6 - 3,724$$

$$F_p = 2,224 \text{ N}$$

Kde: m_{pr} celková hmotnost reálného břemena

2.2.8 Zrychlení břemena na délce dopravníku a

$$a = \frac{F_p}{m_{pr}}$$

$$a = \frac{2,224}{5,8}$$

$$a = 0,383 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Kde: F_p je pohybová síla

2.2.9 Rychlost břemena v místě osušení v

$$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot S}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 0,383 \cdot 1,5}$$

$$v = 1,073 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

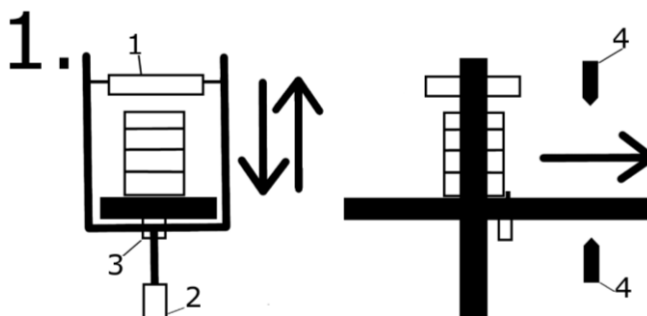
Kde: a je zrychlení břemena

S je dráha, kterou břemeno urazí v půlce trati

3. Návrh řešení stroje pro osušení

Osušení pивních soudků bude probíhat pomocí pneumatických noů. Pro osušení řla soudku bude nejvhodnějši pouůit kruhový nůů. Dále pak pro osušení obou podstav bude vhodné pouůit přímé pneumatické noůe.

3.1 Teoretické možnosti řešení

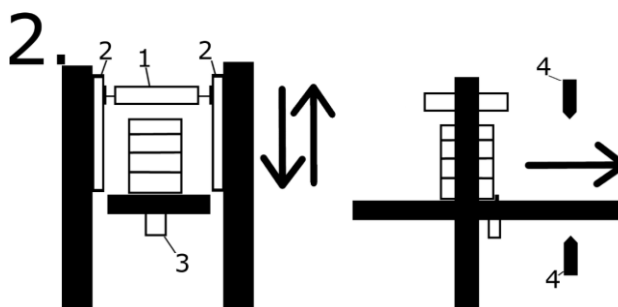


1 – Kruhový pneumatický nůů, 2 – Přímočarý pneumatický válec, 3 – Kompaktní pneumatický válec, slouůící jako zarážka soudku, 4 – Přímočaré pneumatické noůe

OBRÁZEK 3.1 – NÁVRH ŘEŠENÍ Č. 1

U řešení na obrázku 3.1, je kruhový pneumatický nůů připevněn ke konstrukci, která je dále napojena k přímočarému pneumatickému motoru, který zajišťuje vertikální pohyb konstrukce. Za tímto místem budou dále umístěny přímočaré noůe.

Po zastavení soudku o zarážku, která vyjízdi mezi válečky dopravníku, dojde k zapnutí kruhového noůe, sjetí a opětovnému vyjetí pneumatického motoru. Poté sjede zarážka, dojde k vypnutí kruhového noůe a zapnutí přímočarých noůů. Následně se soudek opět rozjede a projede mezi přímočarými noůi.

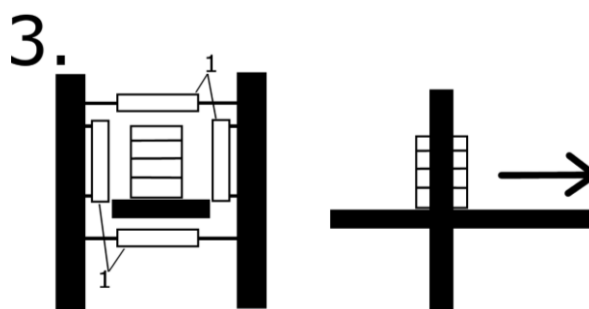


1 – Kruhový pneumatický nůů, 2 – Bezpístnicové přímočaré pneumatické válce, 3 – Kompaktní pneumatický válec, slouůící jako zarážka soudku, 4 – Přímočaré pneumatické noůe

OBRÁZEK 3.2 – NÁVRH ŘEŠENÍ Č. 2

Princip řešení, uvedeného na obrázku 3.2, je skoro totožný s návrhem řešení č. 1. Hlavní rozdíl je ale v tom, že kruhový pneumatický nůž je připevněn ke dvěma bezpístnicovým pneumatickým motorům.

Toto řešení je zejména vhodné pro prostory, kde je nedostatek místa pro použití klasického pneumatického motoru s pístnicí. Nevýhodou tohoto řešení je vyšší cena bezpístnicových motorů.



1 – Přímočaré pneumatické nože

OBRÁZEK 3.3 – NÁVRH ŘEŠENÍ Č. 3

Řešení na obrázku 3.3 je založeno na umístění čtyř přímočarých pneumatických nožů naproti sebe, kdy po projetí soudku kolem senzoru dojde ke spuštění nožů.

U všech řešení by bylo možné použít pro osušení čel soudku rotační pneumatické nože. Bohužel kvůli dopravníku by nebylo zajištěno dostatečné osušení spodního čela soudku, proto jsou použity přímé nože, které zajistí rovnoměrné osušení.

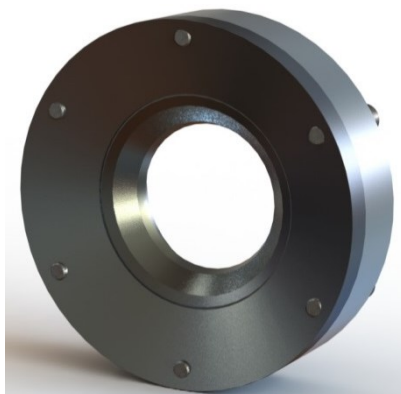
Nejvhodnějším řešením, které bude dále zpracováno v této práci, je možnost řešení č. 1. Toto řešení poskytuje nejlepší kombinaci efektivity osušení soudku a ekonomické stránky řešení, jelikož kruhový pneumatický nůž je upevněn ke konzoli, kterou pohání přímočarý pneumatický válec.

3.2 Návrh pneumatických nožů

3.2.1 Volba pneumatických nožů

Kruhový pneumatický nůž

Pro osušení pláště je zvolen kruhový pneumatický nůž od výrobce **MOS technik**



OBRÁZEK 3.4 – KRUHOVÝ PNEUMATICKÝ NŮŽ

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/img/sortiment/30.jpg>

Model: **VNCJ-AL-N-0500-0200**

Technické parametry: pracovní tlak: max 0,8 MPa

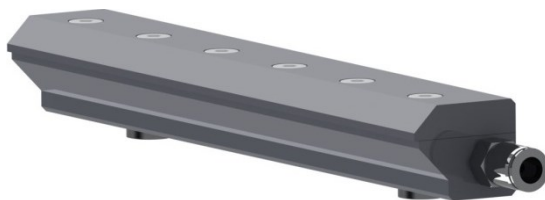
 připojovací rozměr: G1/4“; 2 pozice

 vnitřní průměr 200 mm

 tloušťka šterbiny: 0,05mm

Přímý pneumatický nůž

Pro osušení čel soudku je zvolen pneumatický nůž od výrobce **MOS technik**.



OBRÁZEK 3.5 – PŘÍMÝ PNEUMATICKÝ NŮŽ

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/img/sortiment/15.jpg>

Model: **VNP-AL-N-0800-0200**

Technické parametry: pracovní tlak: max 0,8 MPa

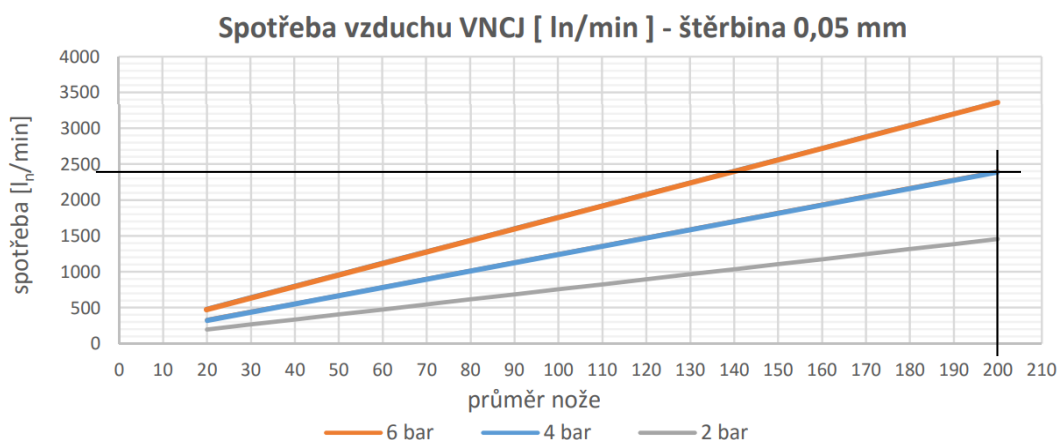
přípojovací rozměr: G1/4“; 4 pozice

délka nože: 200 mm

tloušťka šterbiny: 0,08 mm

3.2.2 Spotřeba vzduchu pneumatických nožů

Kruhový nůž

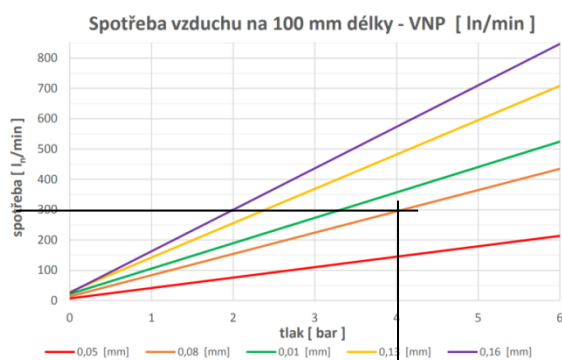


OBRÁZEK 3.6 – SPOTŘEBA VZDUCHU KRUHOVÉHO NOŽE

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/download/sortiment/vncj-manual.pdf>

Z grafu od výrobce, obrázek 3.6, lze vyčíst, že při tlaku v obvodu 4 bary, je spotřeba vzduchu pro nůž o průměru 200 mm přibližně 2450 l_n·min⁻¹.

Přímý nůž



OBRÁZEK 3.7 – SPOTŘEBA VZDUCHU PŘÍMÉHO NOŽE

Zdroj: <https://www.mos-pneumatics.com/download/sortiment/vnp-manual.pdf>

Z toho grafu od výrobce, obrázek 3.7, lze vyčíst, že pro nůž s velikostí štěrby 0,08 mm, při tlaku v obvodu 4 bary, připadá pro každých 100 mm spotřeba přibližně $300 \text{ l}_n \text{ min}^{-1}$.

Jelikož naše nože mají délku 200 mm, je třeba spotřebu zjištěnou z grafu zdvojnásobit. Spotřeba vzduchu každého nože bude $600 \text{ l}_n \text{ min}^{-1}$.

3.3 Návrh pohonů pro pneumatický obvod

Jelikož v obvodu není potřeba použít velké síly, bude tlak v obvodu 0,4 MPa. Tento tlak také bude dostačující pro jednotlivé nože, čímž také nebude tak vysoká spotřeba vzduchu.

3.3.1 Výpočet hlavního pneumatického válce

Výpočet síly F_k působící na válec

Hlavní pneumatický válec bude zvedat konstrukci ve tvaru „U“ smontovanou z hliníkových profilů. Celková délka těchto profilů bude zhruba 1,5m. Při použití hliníkových profilů **Profil 8 40x40 E** od firmy **HABERKONRN** je hmotnost tohoto profilu $1,37 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$. Celková hmotnost této konstrukce bude tedy 2,1 kg. Dále pak bude ke konstrukci přidělán kruhový pneumatický nůž. Hmotnost tohoto nože bohužel výrobce neuvádí, proto je nutné ji výpočtem odhadnout.

Rozměry nože: velký průměr – 260mm, malý průměr – 200 mm, výška – 30mm

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = \rho \cdot \frac{\pi \cdot (D_n^2 - d_n^2) \cdot h}{4}$$

$$m = 7850 \cdot \frac{\pi \cdot (0,26^2 - 0,2^2) \cdot 0,03}{4}$$

$$m = 5,1 \text{ kg}$$

Celková odhadnutá hmotnost, kterou bude válec zvedat je 7,2kg. Aby bylo zajištěno zvolení vhodného válce, je hmotnost, která bude zvedaná válcem, stanovena na velikost 10kg.

$$F_k = m_k \cdot g$$

$$F_k = 10 \cdot 9,81$$

$$F_k = 98,1 \text{ N}$$

Kde: m_k je hmotnost konstrukce, kterou bude válec zvedat

g je tíhové zrychlení

Výpočet průměru pístu válce D_p

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_k}{\pi \cdot p}}$$

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 98,1}{\pi \cdot 4 \cdot 10^5}}$$

$$D_p = 0,0177 \text{ m} \rightarrow 17,7 \text{ mm}$$

Kde: p je tlak v pneumatickém obvodu

Aby byl válec zabezpečen proti pootočení pístnice, bude použit pneumatický válec s lineárním vedením. Díky tomuto typu válce nebude nadále potřeba řešit lineární vedení mezi hliníkovými profily.

Nejmenší velikost takového válce je $\varnothing D_p = 32 \text{ mm}$. Jelikož je tento válec téměř 2x větší než je potřeba, není nutné kontrolovat vzpěrnou sílu

Vhodným válcem pro tuto aplikaci je válec od firmy **PNEUMAX**



OBRÁZEK 3.8 – PNEUMATICKÝ VÁLEC, ŘADA 1398

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat04-0007_rozmery.pdf

Model: **1398.32.300.01**

Rozměry: průměr pístu 32 mm

průměr pístnice 12 mm

zdvih 300 mm

přípoj: G1/8"; 2 pozice

K tomuto válci je taktéž potřeba zvolit lineární vedení model: **1320.32.300.GLB**



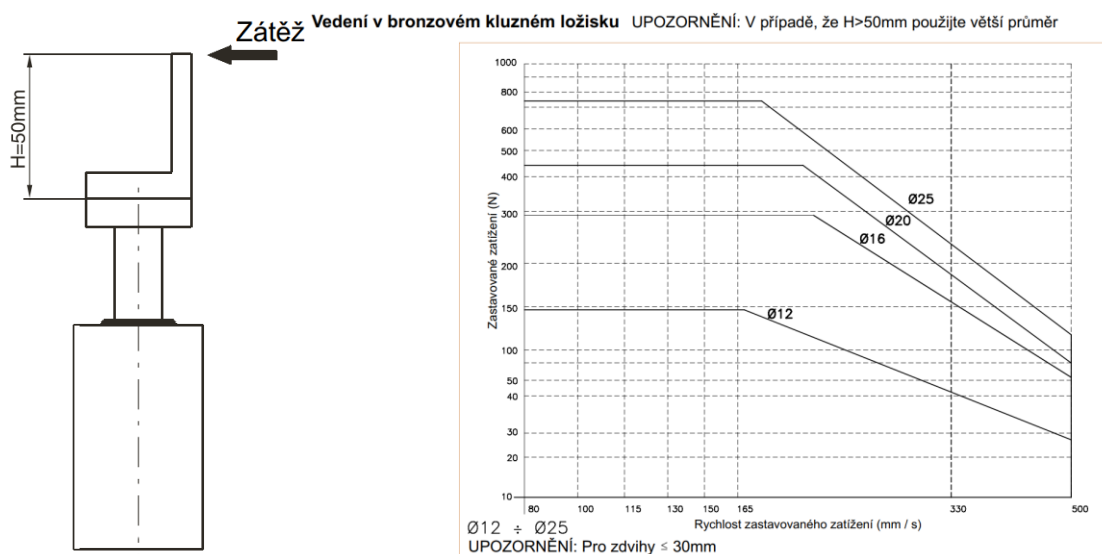
OBRÁZEK 3.9 – LINEÁRNÍ VEDENÍ PNEUMATICKÉHO VÁLCE

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat04-0005-0000a.pdf

3.3.2 Výpočet zarážkového válce

Síla, kterou bude muset válec zastavit je síla F_p , která byla vypočítána v kapitole 2.2.9. Tato síla má velikost $F_p = 2,224$ N. Jelikož však bude nutné před osušením dráhu soudku vystředit na požadované místo, lze předpokládat, že se tato síla, kterou soudek narazí do zarážkového válce, ještě o něco sníží při zpomalení o „středící svodidla“ na dopravníku.

Pro tuto funkci volím válec od firmy **PNEUMAX** série **6100**



OBRÁZEK 3.10 – GRAF PŘI POUŽITÍ VE FUNKCI ZASTAVENÍ

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat06-0001a.pdf

V grafu na obrázku 3.10 lze vidět, že síla F_p , kterou soudek narazí do zarážky, je minimální, i když rychlost nárazu přesahuje maximum tohoto grafu. Jelikož ale také dojde k zbrzdění soudku před zastavením, bude pro tuto aplikaci dostačující válec Ø12.

Model: **6100.12.20.B.L**



OBRÁZEK 3.11 – VÁLEC S VEDENÍM, ŘADA 6100

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat06-0001a.pdf

Rozměry: průměr pístu 12 mm

průměr pístnice 6 mm

zdvih 20mm

přípoj: M5; 4 pozice

3.3.3 Výpočet potřebného objemu vzduchu pro primární válec

Strana pístu

$$V_{1p} = S_{1p} \cdot h$$

$$V_{1p} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \cdot h$$

$$V_{1p} = \frac{\pi \cdot 0,032^2}{4} \cdot 0,3$$

$$V_{1p} = 0,000241 \text{ m}^3$$

Strana pístnice

$$V_2 = S_2 \cdot h$$

$$V_{2p} = \frac{\pi \cdot (D_p^2 - d_p^2)}{4} \cdot h$$

$$V_{2p} = \frac{\pi \cdot (0,032^2 - 0,012^2)}{4} \cdot 0,3$$

$$V_{2p} = 0,000207 \text{ m}^3$$

Celkový objem vzduchu pro jeden pracovní cyklus

$$V_{cp} = V_{1p} + V_{2p}$$

$$V_{cp} = 0,000241 + 0,000207$$

$$V_{cp} = 0,000449 \text{ m}^3$$

Celkový objem vzduchu – přepočet na normální stav

$$V_{CNP} = V_c \cdot \frac{p}{p_N}$$

$$V_{CNP} = 0,000449 \cdot \frac{400000}{101325}$$

$$V_{CNP} = 0,00177 \text{ m}^3 \text{ (ANR)}$$

Střední spotřeba vzduchu jednoho pracovního cyklu

Dobu zasunutí i vysunutí volím 3s, čili celková doba pracovní $t_{cp} = 6s$.

$$Q_{střp} = \frac{V_{CN}}{t_{cp}}$$

$$Q_{střp} = \frac{0,00177}{6}$$

$$Q_{střp} = 0,000295 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow 17,71 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)}$$

3.3.4 Spotřeba vzduchu pro zářkový válec

Strana pístu

$$V_{1z} = S_1 \cdot h$$

$$V_{1z} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h$$

$$V_{1z} = \frac{\pi \cdot 0,012^2}{4} \cdot 0,02$$

$$V_{1z} = 0,00000226 \text{ m}^3$$

Strana pístnice

$$V_{2z} = S_2 \cdot h$$

$$V_{2z} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot h$$

$$V_{2z} = \frac{\pi \cdot (0,012^2 - 0,006^2)}{4} \cdot 0,02$$

$$V_{2z} = 0,0000017 \text{ m}^3$$

Celkový objem vzduchu pro jeden pracovní cyklus

$$V_{cz} = V_{1z} + V_{2z}$$

$$V_{cz} = 0,00000226 + 0,0000017$$

$$V_{cz} = 0,00000396 \text{ m}^3$$

Celkový objem vzduchu – přepočet na normální stav

$$V_{CNz} = V_c \cdot \frac{p}{p_N}$$

$$V_{CNz} = 0,00000369 \cdot \frac{400000}{101325}$$

$$V_{CNz} = 0,0000156 \text{ m}^3 \text{ (ANR)}$$

Střední spotřeba vzduchu jednoho pracovního cyklu

Dobu zasunutí i vysunutí volím 1s, čili celková doba pracovní $t_{cz} = 2s$.

$$Q_{střz} = \frac{V_{CN}}{t_{cz}}$$

$$Q_{střz} = \frac{0,0000156}{2}$$

$$Q_{střz} = 0,00000781 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow 0,469 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}(\text{ANR})$$

4.2 Schéma obvodu

Na základě krokového diagramu bylo sestaveno schéma pneumatického obvodu, které je v Priloha-A, k němuž patří také seznam pneumatických prvků v přílohách Priloha-SP-1, Priloha-SP-2 a Priloha-SP-3.

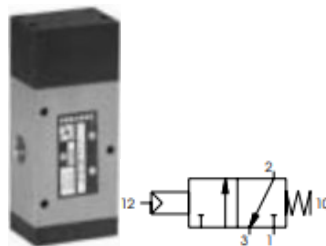
4.3 Návrh rozváděčů pro nože a válce

4.3.1 Rozváděče pro pneumatické nože

Veškeré pneumatické prvky a jejich specifikace byly zvoleny z katalogu firmy PNEUMAX Automation s.r.o. – Pneumatické prvky 2015. Část šroubení je zvolena z katalogu firmy SANG-A.

Rozváděč kruhového nože – 2V1, 2V2

Pro zajištění dostatečného průtoku vzduchu je zvolen rozváděč od firmy **PNEUMAX**. Jelikož je spotřeba nože velmi vysoká, budou pro zajištění dostatečného průtoku použity 2 tyto rozváděče, pro každý přípoj nože jeden.



OBRÁZEK 4.2 – ROZVÁDĚČ PRO KRUHOVÝ NŮŽ

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat02-0002.pdf

Model: **212.32.11.1**

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $3500 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 15 mm

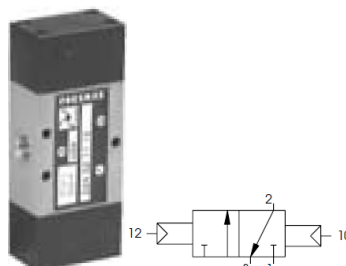
Pracovní přípoj: G1/2“

Řídící přípoj: G1/8“

Min. ovládací tlak: 0,25MPa

Rozváděč přímých nožů – 4V1, 4V2

Spotřeba jednoho nože je přibližně $600 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$. Pro jeden přímý vzduchový nůž je zvolen rozváděč od firmy **PNEUMAX**.



OBRÁZEK 4.3 – ROZVÁDĚČ PRO PŘÍMÉ NOŽE

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat02-0002.pdf

Model: **224.32.11.11**

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $1360 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 8 mm

Pracovní přípoj: G1/4"

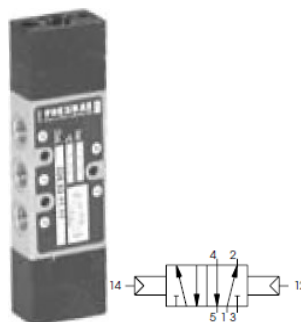
Řídící přípoj: G1/8"

Min. ovládací tlak: 0,25MPa

4.3.2 Rozváděče pro pneumatické válce – 1V1, 3V1

Pro oba pneumatické válce jsem zvolil stejný rozváděč, díky čemuž bude možné je smontovat dohromady a ušetřit tím místo ve skříni.

Volím pneumatický rozváděč od firmy **PNEUMAX**



OBRÁZEK 4.4 – ROZVÁDĚČ PRO PNEUMATICKÉ VÁLCE

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat02-0002.pdf

Model: **228.52.11.11**

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $540 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 6 mm

Pracovní přípoj: G1/8"

Řídící přípoj: G1/8"

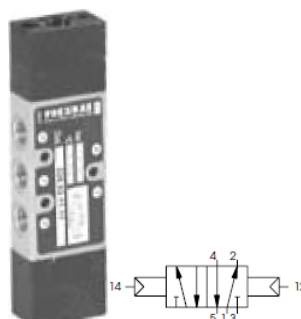
Min. ovládací tlak: 0,2MPa

4.4 Návrh dalších prvků v obvodu

4.4.1 Rozváděč k přepínání fází – 0V2

Výrobce: PNEUMAX

Model: **228.52.11.11**



OBRÁZEK 4.5 – ROZVÁDĚČ PRO PŘEPÍNÁNÍ FÁZÍ

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat02-0002.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $540 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 6 mm

Pracovní přípoj: G1/8"

Řídící přípoj: G1/8"

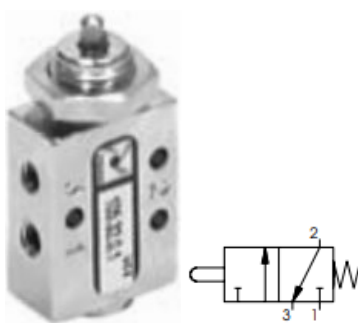
Min. ovládací tlak: 0,2MPa

4.4.2 Narážky a kladičky

Startovací narážka a narážka – 1S3, 3S1

Výrobce: PNEUMAX

Model: **105.32.0.1**



OBRÁZEK 4.6 – MECHANICKÁ NARÁŽKA

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat01-0003.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $120 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 2,5 mm

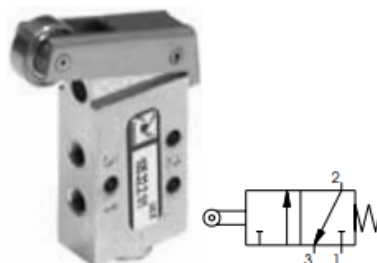
Pracovní přípoj: M5

Ovládací síla: 14 N

Kladičky – 1S1, 1S2

Výrobce: PNEUMAX

Model: 105.32.2.1/1



OBRÁZEK 4.7 – MECHANICKÁ KLADIČKA

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat01-0003.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: 1 MPa

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $120 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 2,5 mm

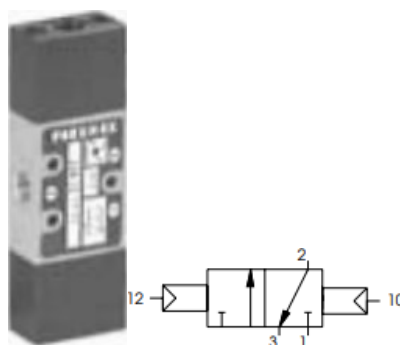
Pracovní přípoj: M5

Ovládací síla: 6 N

4.4.3 Rozváděč pro řízení rozváděče hlavního válce – 1V2

Výrobce: PNEUMAX

Model: 228.32.11.11



OBRÁZEK 4.8 – ROZVÁDĚČ

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat02-0002.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $540 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 6 mm

Pracovní přípoj: G1/8“

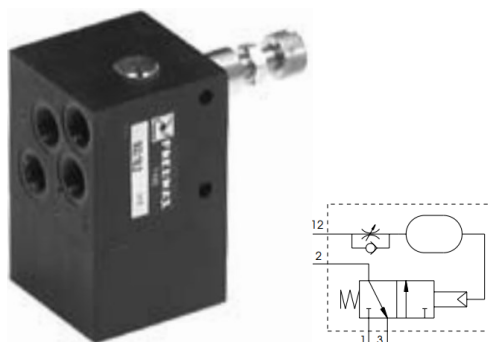
Řídící přípoj: G1/8“

Min. ovládací tlak: 0,2MPa

4.4.4 Časové relé – 1S4, 3S2, 4S1

Výrobce: PNEUMAX

Model: 900.18.3



OBRÁZEK 4.9 – ČASOVÉ RELÉ

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat02-0002.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: $0,3 \div 1 \text{ MPa}$

Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $130 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Světlost: 2,5 mm

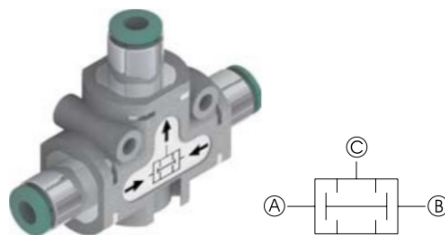
Pracovní/řídící přípoj: G1/8“

4.4.5 Logické prvky

Logický prvek AND – 1V3, 3V2, 3V3

Výrobce: PNEUMAX

Model: 551.151.D4.D4.D4



OBRÁZEK 4.10 – LOGICKÝ PRVEK AND

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat01-0002.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

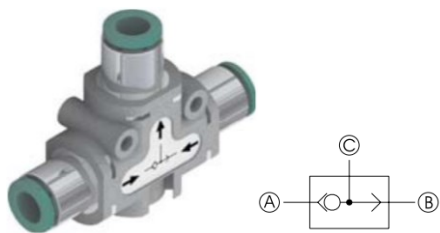
Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $550 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Přípoje: přímý Ø4

Logický prvek OR – 3V4

Výrobce: **PNEUMAX**

Model: **551.141.D4.D4.D4**



OBRÁZEK 4.11 – LOGICKÝ PRVEK OR

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat01-0002.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

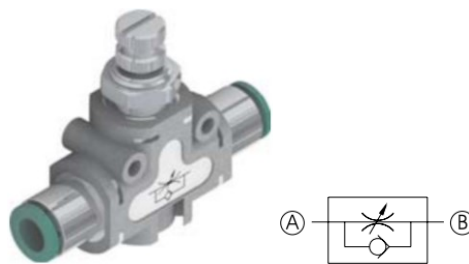
Průtok při 0,6 MPa a $\Delta p = 0,1 \text{ MPa}$: $600 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Přípoje: přímý Ø4

4.4.6 Škrťací ventil – 1V4, 1V5, 3V5, 3V6

Výrobce: **PNEUMAX**

Model: **551.111.D6.D6.XX**



OBRÁZEK 4.12 – ŠKRTÍCÍ VENTIL

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat01-0002.pdf

Technická data: Max. pracovní tlak: 1MPa

Volný průtok v neregulovaném směru: $800 \text{ l}_n \cdot \text{min}^{-1}$

Přípoje: přímý Ø6

Ø světlosti: 3 mm

4.4.7 Šroubení

Šroubení pro jednotlivé prvky bude od firmy **PNEUMAX** série **RAP** a **Tecno-RAP**

Přímá šroubení



OBRÁZEK 4.13 – NÁSTRČNÉ ŠROUBENÍ PŘÍMÉ

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat05-0001.pdf

Přípoj M5: **B0104M5** – průměr hadice 4 mm

Přípoj G1/8“: **B010418** – průměr hadice 4 mm

Přípoj G1/4“: **B011214** – průměr hadice 12 mm

Přípoj G1/2“: **IQSG 1216 G** – průměr hadice 16 mm

Přímé šroubení pro přípoj G1/2“ a průměr hadice 16 mm je zvoleno od firmy **SANG-A**

Úhlová šroubení



OBRÁZEK 4.14 – NÁSTRČNÉ ŠROUBENÍ ÚHLOVÉ

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat05-0002.pdf

Přípoj G1/8“: **TB220418** – průměr hadice 12 mm

Přípoj G1/4“: **TB221214** – průměr hadice 12 mm

Přípoj G1/2“: **IQSL 1216 G** – průměr hadice 16 mm

Tlumiče hluku



OBRÁZEK 4.15 – TLUMIČE HLUKU

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat05-0008.pdf

Přípoj M5: **SEP5MA**

Přípoj G1/8“: **SEP18**

Přípoj G1/4“: **SEP14**

Přípoj G1/2“: **SEP12**

Hadice



OBRÁZEK 4.16 – HADICE

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat05-0011.pdf

Hadice od firmy **PNEUMAX**

Hadice Ø4x2 mm **TPU0420**

Hadice Ø6x4 mm **TPU0640**

Hadice Ø12x10 mm **PA111210**

Hadice od firmy **INAIRCOM**

Hadice Ø16x14 mm **R14021614**

Další spojovací prvky jako jsou T – šroubení, Y – šroubení a redukce jsou uvedeny v příloze seznamu použitých prvků Priloha-SP.

4.5 Návrh jednotky pro úpravu vzduchu

Jelikož nebudou všechny prvky v provozu současně, není třeba dimenzovat jednotku na úpravu vzduchu na tak velký průtok.

Jednotka bude dimenzována na průtok kruhového nože a primárního válce současně.

Pro tuto aplikaci volím jednotku vzduchu skládající se z uzavíracího ventilu a redukčního ventilu s filtrem a manometrem od firmy **PNEUMAX**, série **AIRPLUS** velikost 3.



OBRÁZEK 4.17 – JEDNOTKA PRO ÚPRAVU VZDUCHU

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat03-0010.pdf

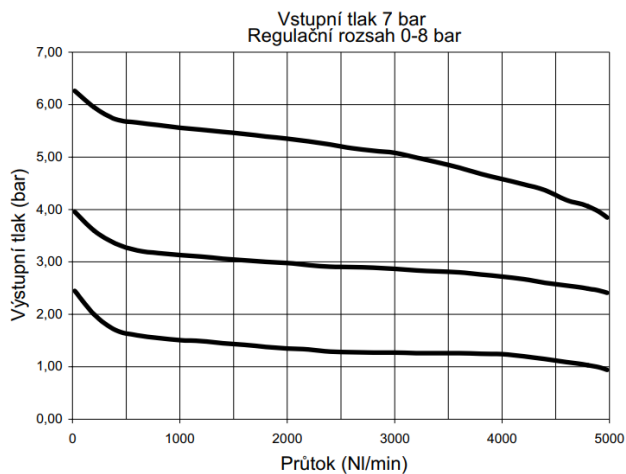
Model: **GT173BVGG**

Technická data: Přípoj: G1/2"

Max. vstupní tlak: 1,3 MPa

Regulační rozsah: 0 – 0,8 MPa

Velikost filtrace: 20 µm



OBRÁZEK 4.18 – GRAF PRŮTOKU JEDNOTKY PRO ÚPRAVU VZDUCHU

Zdroj: http://www.pneumaxsro.cz/pdf/pneu_cat03-0010.pdf

Z grafu, viz obrázek 4.18, lze vidět, že tato jednotka pro úpravu vzduchu by měla poskytovat dostatečné pokrytí požadovaného průtoku i tlaku, což bude ověřeno výpočtem propustnosti.

4.6 Kontrola propustnosti

Aby byl zajištěn dostatečný průtok vzduchu ke spotřebičům, je nutné zkontrolovat prvky na celkovou jejich propustnost ke spotřebiči.

Existují 2 vzorce pro výpočet propustnosti podle toho, jestli jsou prvky zapojeny sériově nebo paralelně.

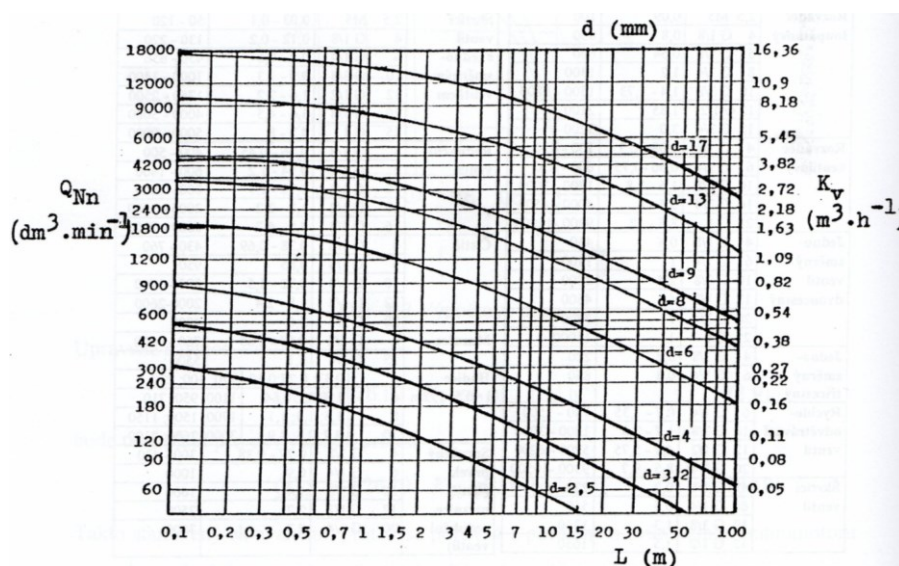
$$\text{Vzorec pro sériové zapojení prvků: } Q_{N_{ne}} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{a=1}^i Q_{N_{ni}}^2}}$$

$$\text{Vzorec pro paralelní zapojení prvků: } Q_{N_{ne}} = \sum_{a=1}^i Q_{N_{ni}}$$

Propustnost jednotlivých prvků je uvedena v předchozím textu. Propustnost hadic a šroubení je volena z tabulky a grafu.

Jmenovitá světlost šroubení		K_v	Q_{Nn}
d (mm)	(")	($m^3 \cdot h^{-1}$)	($dm^3 \cdot min^{-1}$)
2	G 1/8	0,21	230
2,5	G 1/4	0,33	367
4	G 1/8	0,85	940
6	G 1/4	1,92	2100
8	G 1/4	3,45	3700
10	G 3/8	5,33	5850
12	G 1/2	7,67	8440
16	G 1/2	13,63	14960
20	G 3/4	21,32	24500

OBRÁZEK 4.19 – TABULKA PROPUSTNOSTI ŠROUBENÍ¹²



OBRÁZEK 4.20 – GRAF PROPUSTNOSTI HADIC¹²

4.6.1 Kontrola kruhového nože

Jelikož bude mít každý přípoj kruhového nože svůj vlastní rozváděč, bude dostačující vypočítat propustnost jedné této větve, neboť jsou tyto větve totožné

Propustnost, které musíme v jedné větvi dosáhnout je $Q_k = 1225 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (ANR).

Prvek	Propustnost [$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (ANR)]	Počet
3/2 Rozváděč	3500	1
Šroubení G1/2 – Ø16 mm	12000	7
Šroubení G1/4 – Ø12 mm	3700	1
Hadice 0,5 m – Ø16/14 mm	9000	1
Hadice 1,5 m – Ø16/14 mm	8000	1
Hadice 0,2 m – Ø16/14 mm	9500	1
Hadice 0,1 m – Ø16/14 mm	10000	2
Jednotka pro úpravu vzduchu	5000	1

TABULKA 4.1 PROPUSTNOST PRVKŮ KRUHOVÉHO NOŽE

$$Q_{ckN_{ne}} = \sqrt{\frac{1}{3500^2} + \frac{7}{12000^2} + \frac{1}{3700^2} + \frac{1}{9000^2} + \frac{2}{8000^2} + \frac{1}{9500^2} + \frac{2}{1000^2} + \frac{1}{5000^2}}$$

$$Q_{ckN_{ne}} = 1819 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)} > 1225 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Zvolené prvky splňují požadovanou propustnost.

4.6.2 Kontrola přímých nožů

Výpočet pro přímé nože bude probíhat pouze pro jeden nůž, neboť propustnost druhé větve bude totožná.

Spotřeba obou přímých nožů je $Q_{kc} = 600 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (ANR).

Prvek	Propustnost [dm ³ ·min ⁻¹ (ANR)]	Počet
3/2 Rozváděč	1360	1
Šroubení G1/2 – Ø16 mm	12000	4
Šroubení G1/4 – Ø12 mm	3700	6
Hadice 0,5 m – Ø12/10 mm	6500	1
Hadice 2 m – Ø12/10 mm	5000	1
Hadice 0,2 m – Ø12/10 mm	6800	1
Hadice 0,1 m – Ø12/10 mm	7000	2
Jednotka pro úpravu vzduchu	5000	1

TABULKA 4.2 PROPUSTNOST PRVKŮ PŘÍMÝCH NOŽŮ

$$Q_{cpN_{ne}} = \sqrt{\frac{1}{1360^2} + \frac{4}{12000^2} + \frac{6}{3700^2} + \frac{1}{6500^2} + \frac{1}{5000^2} + \frac{1}{6800^2} + \frac{2}{7000^2} + \frac{1}{5000^2}}$$

$$Q_{cpN_{ne}} = 923 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)} > 600 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \text{ (ANR)} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Výsledná propustnost je opět vyšší, než požadovaná spotřebičem.

Pneumatické válce mají tak nízkou spotřebu vzduchu, že u nich není kontrola propustnosti zapotřebí.

5 Konstrukce zařízení

Celá konstrukce bude je sestavena z hliníkových profilů **Profil 8 40x40 E** od firmy **HABERKONRN**. K této konstrukci bude přimontována pneumatická rozvodná skříň, ve které budou namontovány všechny prvky, které není nutné montovat přímo na konstrukci. Z této skříně budou vyvedeny hadice k prvkům mimo ni. Na dopravníku budou umístěna středící svodidla, která zajistí správnou pozici soudku při osušení.

Schéma zapojení prvků ve skříni:

V této příloze je uvedeno schéma prvků zapojených ve skříni. Rozváděče ohraničené čárkovanou čarou jsou v této skříni montovány na sobě.

Priloha-B

Výkres s montážními rozměry prvků:

Montážní rozměry prvků ve skříni jsou voleny tak, aby bylo zajištěno dostatečné místo pro zapojení všech prvků. Kótovány jsou pouze připojovací díry jednotlivých prvků.

Obrysy prvků jsou viditelné z důvodu lepší představy o jejich rozložení.

Priloha-C

Seznam použitých prvků v obvodu:

Tato příloha obsahuje seznam prvků, na které je odkazováno v přílohách A a B.

Priloha-SP-1

Priloha-SP-2

Priloha-SP-3

Dispoziční výkres a seznam prvků:

Dispoziční výkres a seznam prvků, na které je v něm odkazováno, jsou uvedeny v těchto přílohách.

Priloha-D

Priloha-D-SP

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout zařízení, pro sušení 5l soudků pomocí stlačeného vzduchu. Aby bylo možné zvolit nejvhodnější řešení, bylo nejprve nutné zjistit druhy zařízení pro ofukování. Jako nejvhodnější pro tuto aplikaci byl zvolen kruhový pneumatický nůž o průměru 200mm a přímý pneumatický nůž o délce 200mm.

Aby bylo zajištěno samovolné rozjetí, byl také vypočítán sklon dopravníku, po kterém se bude soudek pohybovat, včetně velikosti válečků a rozteče mezi nimi.

Ke zvoleným nožům dále byl navržen pneumatický obvod s dostatečnou propustností prvků, která byla také ověřena výpočtem. Pro posun kruhového nože byl zvolen pneumatický válec s dodatečným vedením, díky čemuž nebude nutné „U“ konstrukci dále zajišťovat proti pootočení, či ohnutí. Jako zářezový válec byl zvolen miniaturní válec s vedením s dostatečnou tuhostí proti ohnutí, při zastavení soudku. Navržený obvod je řízen plně pneumaticky. Tlak v tomto obvodu je 0,4 MPa, který je dostatečný pro tuto aplikaci. U tohoto obvodu je navržena také skříň, ve které budou umístěny všechny prvky, které není nutné umístit na konstrukci.

Nakonec byl vytvořen dispoziční výkres navrhovaného zařízení.

Přílohou této práce je schéma obvodu, schéma zapojení prvků ve skříni, seznam použitých prvků v obvodu, montážní výkres prvků ve skříni a dispoziční výkres zařízení

Seznam obrázků:

OBRÁZEK 1.1 – VRTANÁ TRUBKA	16
OBRÁZEK 1.2 – TRUBKA S TRYSKAMI	16
OBRÁZEK 1.3 – TRYSKY OFUKOVACÍ PISTOLE	17
OBRÁZEK 1.4 – ROTAČNÍ TRYSKA	17
OBRÁZEK 1.5 – PATA GUN	18
OBRÁZEK 1.6 – TVARY PNEUMATICKÝCH NOŽŮ	18
OBRÁZEK 1.7 – NÍZKOTLAKÝ PNEUMATICKÝ NŮŽ	19
OBRÁZEK 1.8 – RÁZOVÝ ROTAČNÍ NŮŽ	19
OBRÁZEK 1.9 – PRŮMYSLOVÉ APLIKACE	20
OBRÁZEK 2.1 – ROZMĚRY VÁLEČKU	22
OBRÁZEK 3.1 – NÁVRH ŘEŠENÍ Č. 1	28
OBRÁZEK 3.2 – NÁVRH ŘEŠENÍ Č. 2	28
OBRÁZEK 3.3 – NÁVRH ŘEŠENÍ Č. 3	29
OBRÁZEK 3.4 – KRUHOVÝ PNEUMATICKÝ NŮŽ	30
OBRÁZEK 3.5 – PŘÍMÝ PNEUMATICKÝ NŮŽ	30
OBRÁZEK 3.6 – SPOTŘEBA VZDUCHU KRUHOVÉHO NOŽE	31
OBRÁZEK 3.7 – SPOTŘEBA VZDUCHU PŘÍMÉHO NOŽE	31
OBRÁZEK 3.8 – PNEUMATICKÝ VÁLEC, ŘADA 1398	33
OBRÁZEK 3.9 – LINEÁRNÍ VEDENÍ PNEUMATICKÉHO VÁLCE	34
OBRÁZEK 3.10 – GRAF PŘI POUŽITÍ VE FUNKCI ZASTAVENÍ	34
OBRÁZEK 3.11 – VÁLEC S VEDENÍM, ŘADA 6100	35
OBRÁZEK 4.1 – KROKOVÝ DIAGRAM	39
OBRÁZEK 4.2 – ROZVÁDĚČ PRO KRUHOVÝ NŮŽ	40
OBRÁZEK 4.3 – ROZVÁDĚČ PRO PŘÍMÉ NOŽE	41
OBRÁZEK 4.4 – ROZVÁDĚČ PRO PNEUMATICKÉ VÁLCE	42
OBRÁZEK 4.5 – ROZVÁDĚČ PRO PŘEPÍNÁNÍ FÁZÍ	42
OBRÁZEK 4.6 – MECHANICKÁ NARÁŽKA	43
OBRÁZEK 4.7 – MECHANICKÁ KLADIČKA	44
OBRÁZEK 4.8 – ROZVÁDĚČ	44
OBRÁZEK 4.9 – ČASOVÉ RELÉ	45
OBRÁZEK 4.10 – LOGICKÝ PRVEK AND	46
OBRÁZEK 4.11 – LOGICKÝ PRVEK OR	46
OBRÁZEK 4.12 – ŠKRTÍCÍ VENTIL	47
OBRÁZEK 4.13 – NÁSTRČNÉ ŠROUBENÍ PŘÍMÉ	47
OBRÁZEK 4.14 – NÁSTRČNÉ ŠROUBENÍ ÚHLOVÉ	48
OBRÁZEK 4.15 – TLUMIČE HLUKU	48
OBRÁZEK 4.16 – HADICE	49
OBRÁZEK 4.17 – JEDNOTKA PRO ÚPRAVU VZDUCHU	50
OBRÁZEK 4.18 – GRAF PRŮTOKU JEDNOTKY PRO ÚPRAVU VZDUCHU	50
OBRÁZEK 4.19 – TABULKA PROPUSTNOSTI ŠROUBENÍ ¹²	51
OBRÁZEK 4.20 – GRAF PROPUSTNOSTI HADIC ¹²	51

Seznam tabulek

TABULKA 4.1 – PROPUSTNOST PRVKŮ KRUHOVÉHO NOŽE	52
TABULKA 4.2 – PROPUSTNOST PRVKŮ PŘÍMÝCH NOŽŮ	53

Seznam příloh

Priloha-A – schéma obvodu

Priloha-B – schéma zapojení skříně

Priloha-C – montáž prvků ve skříně

Priloha-D – dispoziční výkres

Priloha-D-SP – seznam prvků pro dispoziční výkres

Priloha-SP-1 – seznam prvků obvodu stránka 1/3

Priloha-SP-2 – seznam prvků obvodu stránka 2/3

Priloha-SP-3 – seznam prvků obvodu stránka 3/3

Seznam literatury

- [1] KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
- [2] Porovnání ofukování | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože. *Vzduchové nože... | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože* [online]. Copyright © 2012 [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/porovnavani-ofukovani/>
- [3] Efektivní ofukování | Kompresory PEMA. *Kompresory PEMA - půjčovna kompresorů, servis kompresorů, kompresory Atlas Copco* [online]. Copyright © 2018 [cit. 20.1.2018]. Dostupné z: <http://www.kompresorypema.cz/produkty/efektivni-ofukovani/>
- [4] Rotační vzduchové čistící trysky | LONTECH. *Lontech – surface treatment, s.r.o.* [online]. [cit. 10.12.2017]. Dostupné z: <https://www.lontech.cz/rotacni-vzduchove-cistici-trysky.html>
- [5] Sortiment nožů | série RRT PATA GUN | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože. *Vzduchové nože... | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože* [online]. Copyright © 2012 [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/sortiment-nozu/serie-rrt-pata-gun/1/>
- [6] VZDUCHOVÉ NOŽE - princip, funkce | Betki.eu - engineering a automotive. *Betki.eu - engineering a automotive* [online]. [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <http://www.betki.eu/princip>
- [7] Princip činnosti | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože. *Vzduchové nože... | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože* [online]. Copyright © 2012 [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/princip-cinnosti/>
- [8] Sortiment nožů | série RRN | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože. *Vzduchové nože... | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože* [online]. Copyright © 2012 [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/sortiment-nozu/serie-rrn/1/>
- [9] Průmyslové aplikace | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože. *Vzduchové nože... | MOS PNEUMATICS-vzduchové nože* [online]. Copyright © 2012 [cit. 30.10.2017]. Dostupné z: <https://www.mos-pneumatics.com/cs/prumyslove-aplikace/>
- [10] MALÍK, Vratislav. *Válečkové tratě v teorii a praxi*. Praha: SNTL-SVTL, 1963. 276 s.
- [11] MYNÁŘ, Břetislav a Jaroslav KAŠPÁREK. *Dopravní a manipulační zařízení: pro posluchače bakalářského studia FSI VUT v Brně*. Brno, 2001. VUT Brno.
- [12] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanizmy díl 1. - Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.

Poděkování

„ Tímto bych rád poděkoval Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady při vypracovávání této diplomové práce.“